

1J10 日本郵船における ロケット洋上回収船の研究開発・事業開発の取り組み

○児玉諭彦, 加藤祥太, 寿賀大輔, 笹川亮, 魚川隆史, 名和真也 (日本郵船株式会社),
小知井秀馬, 松下凜太郎 (株式会社 MTI)

Research and Development of Offshore Reusable Rocket Recovery System by NYK Line
Satohiko Kodama, Shota Kato, Daisuke Suga, Ryo Sasagawa, Takashi Uokawa, Shinya Nawa (NYK Line),
Shuma Kochii, Rintaro Matsushita (Monohakobi Technology Institute)

Key Words: Rocket Recovery Vessels, Reusable Rocket, Concept Design, Business Development

Abstract

As a maritime nation with limited land area, Japan places significant emphasis on developing offshore rocket recovery technologies to ensure the safe and efficient recovery of reusable rockets. These technologies are also considered extremely important within Japan's space technology strategy. NYK Line, in collaboration with Mitsubishi Heavy Industries and supported by the JAXA's Space Strategy Fund, is researching and developing an offshore recovery system for reusable rockets. The project involves advancing ship systems for severe maritime conditions, including vehicle capture technology, safety technology, landing deck development, remote operation technology, and guideline development. In July 2025, the initial risk assessment and workshops with JAXA and partners were completed, and Approval in Principle (AiP) for the recovery system was obtained from Class NK. NYK Line aims to contribute to the expansion of space transportation and industrial growth.

1. はじめに

国土面積が限られた海洋国家の日本では、安全かつ効率的にロケットを回収するための洋上回収技術が注目されており、我が国の宇宙技術戦略において非常に重要と位置付けられている。また、宇宙関連産業の市場規模も急速に拡大し、各国ともに官主導の宇宙開発から官民連携への宇宙開発へと移行しつつある。このような背景から、産学官による宇宙活動を加速するべく、日本政府は国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構(以下、「JAXA」)に宇宙戦略基金¹⁾を設置し、設定した技術開発テーマに対して民間企業等が複数年度にわたって大胆に技術開発に取り組めるよう支援が行われている。

日本郵船株式会社(以下、「当社」)は2024年12月20日に宇宙戦略基金事業に採択され²⁾、海事分野の豊富な知見を生かし、三菱重工業株式会社(以下、「三菱重工」)と連携しながら再使用型ロケットの洋上回収システムの研究開発(以下、「本研究」)および事業化に取り組んでいる。

また、本研究が完了した直後の2030年頃については、再使用型ロケットの打上頻度=回収回数が少なく、回収船事業単体では事業としての収益性が厳し

いことも想定されることから、要素技術の洋上打上事業への転用や、回収船事業を拡張した新たなサービスの考案などの検討も並行して進める想定である。

本稿では、当社の取り組みとして、再使用型ロケットの洋上回収システムの研究開発と事業化に向けた、具体的な取り組みと今後の展望を示す。

2. 要素技術と開発項目

本研究の目的は、港から約1,000km程度離れた外洋という厳しい海気象条件下(具体的には、海上技術安全研究所が開発した海の10モード指標³⁾におけるビューフォート6:風速12.6m/s、波高3.0m相当を想定)において運用可能な船舶によるロケット洋上回収システムの開発を実施することである。具体的には、1段目ロケットを回収する回収船と、補助的に運用支援を行う司令船の運用システムの構築、1段目ロケットの相対誘導技術と着地のための定点保持技術、船舶の自律運航技術をはじめとし、表1に示すような洋上回収システム開発に必要な不可欠と考えられる6つの技術開発項目を取り上げ、さらに8つの要素技術に細分化して実施する。

そして、特に技術開発項目VIに示すガイドライン

表 1 洋上回収システムに要求される主要な技術開発項目と技術課題

| # | 技術開発項目 | 概要 | 要素技術 | 技術課題 |
|-----|----------|------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| I | 機体捕獲技術 | 再使用型ロケットを短時間に捕獲する技術 | I-A 相対誘導 | 絶対航法から回収船への相対航法への切替を考慮した、定点着陸に向けたロケット-回収船間の誘導制御技術の確立 |
| | | | I-B 定点保持 | ロケットの洋上回収を想定し、ロケット相対航法に対応した洋上の定点保持技術 |
| II | 安全化技術 | 捕獲した再使用型ロケットを固定し、残留推進薬を排出する技術 | II-A 機体固定 | 機体固定用ロボットの遠隔操作と自律制御を組み合わせた制御手法の確立 |
| | | | II-B 推進薬排出 | 遠隔操作ロボットを活用した機体の排出ポートと設備の排出ポートとの位置合わせ精度の確保 |
| III | 着陸用甲板開発 | 着陸時噴流と着陸時衝撃に耐える甲板構造及び仕様 | III-A 着陸用甲板開発 | 洋上回収船の損傷やメンテナンスコストを最小化した上で、着陸シーケンスでの着陸時噴流による高温熱力や着陸脚から受ける衝撃力に耐えうる甲板仕様の確立 |
| IV | 遠隔運用技術 | 機体捕獲から安全化処置までの間、洋上回収船を遠隔で運用する技術 | IV-A 遠隔運用技術 | 無人運用中の洋上回収船における、遠隔DPS、機体捕獲及び安全化処置を、必要なモニタリングを行い状況判断ができる技術の確立 |
| V | 洋上回収船開発 | I～IVの技術を統合した洋上回収船を一つのシステムとして構築する技術 | V-A 洋上回収船開発 | 外洋での海気象条件下で、年間を通じて80%以上の回収を可能とする、ロケットを安全に回収するための位置、姿勢を制御する船型および設備の開発 |
| VI | ガイドライン整備 | 洋上回収船の運用計画・保守計画と設備要件を基にしたガイドライン整備 | VI-A ガイドライン整備 | 船でロケットを回収するための外的条件、設備要件、オペレーションフローおよびリスクアセスメントなどの実施、それらの策定基準となる規制等の確立。洋上回収船の船級ガイドライン第1版発行 |

表 2 開発スケジュール

| フェーズ | 活動内容 | Stage Gate | | | |
|------|------------------|------------|--------|--------|--------|
| | | 2025年度 | 2026年度 | 2027年度 | 2028年度 |
| 設計 | TLR2: コンセプトの明確化 | ■ | | | |
| | TRL3: 機能モデルの明確化 | ■ | | | |
| | TRL4: コア技術の設計/検証 | | ■ | | |
| 試験 | TRL5: 相当環境での実証試験 | | | ■ | |

整備を通じて、回収船と司令船を含む洋上回収船の汎用的な国内ガイドラインを作成し、ロケット開発会社をはじめとした輸送企業におけるロケット再使用の具体化や、造船会社をはじめとした海事産業による宇宙産業への新規参入に貢献することを目指す。

前例のない外洋環境下でのロケット回収実現に向けた取り組みとするとともに、日本の複数産業の活発化と領域横断を促し、将来的には産業全体での輸送コストの低減に繋がることを期待し、本研究を実施する。

3. 開発スケジュール

本研究の開発スケジュールを表 2 に示す。本研究は、宇宙基金の中で計 4 年間の活動と予定されており、技術開発の成果が得られていることを検証する目的で、2 か年目の活動終了時には技術開発テーマのプログラムオフィサー (PO) を長とした外部有識者にて構成される会 (Stage Gate 評価) を受ける。また、Stage Gate 前となる 2025-26 年度においては技術成熟度レベル (Technology Readiness Levels, 以下「TRL」) が 2-4 までの開発を実施し、Stage Gate 後の 2026-27 年度に TRL5 までの開発を予定している。

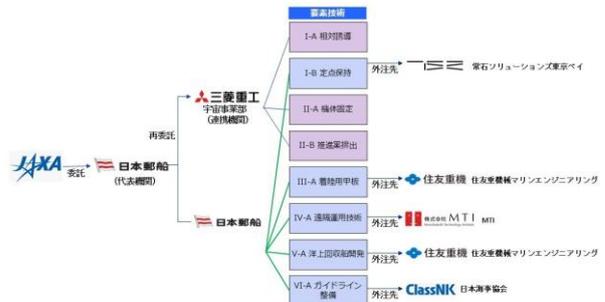


図 1 技術開発の実施体制

4. 技術開発の実施体制

図 1 に技術開発の実施体制を示す。洋上回収システムの要素技術開発に当たり必要な基礎技術を有する当社を代表機関とし、H3 等の大型ロケット開発・運用に国内で最も実績のある三菱重工を連携機関に組み込むことで、船舶だけではなく洋上回収システム全体の課題に広く対応できる体制としている。また、洋上回収船自体の開発においても各要素技術に精通する企業をパートナーとして起用することで、技術的実現性の向上が狙える体制としている。

5. 利害関係者の期待の定義

本研究の実施においては、1995 年に NASA が Systems Engineering Handbook⁴⁾として発行し、ならびに、近年では自動運行船を例に海事分野にも適用が進められているシステムズエンジニアリングの考えに基づいた開発方針を立てることとした。具体的には、図 2 に示すようなスキームを参考に、はじめに

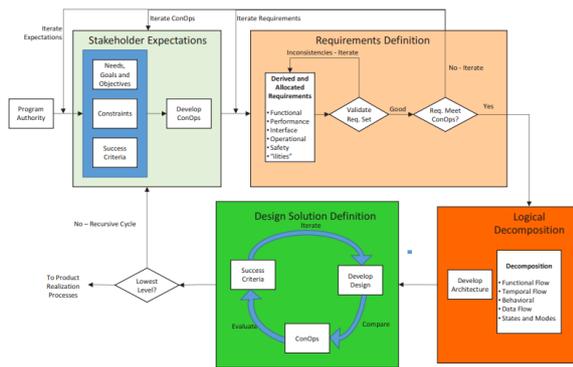


図2 システムズエンジニアリングにおけるプロセス間の相互関係⁴⁾



図3 AiP 証書⁵⁾

洋上回収システムの使用が想定される事業(以下、「本事業」)全体に渡った利害関係者の期待を明確化し、関係者間での協議を重ねることを目的に、再使用機体の洋上回収に関する Concept of Operations (以下、「ConOps」)を策定した。特に ConOps 中で、本事業に関わるステークホルダー、運用シナリオ概要、システム構成などを定義し、本研究の開発根拠とすることとした。なお、2025年7月には、ConOpsに基づき、JAXA やその他のパートナー企業とのワークショップおよびリスクアセスメントを実施し、関係者間で内容について合意したとともに、日本海事協会か

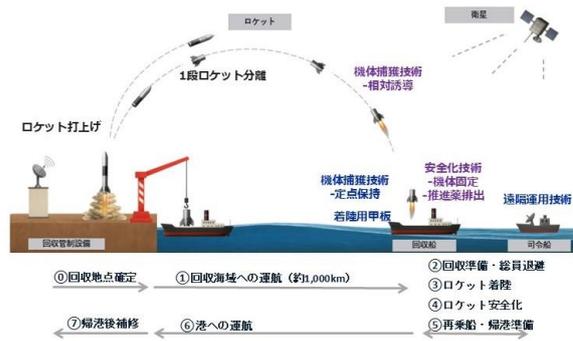


図4 洋上回収システムおよび運用シナリオ概要

ら洋上回収システムの構成に関するコンセプト承認として図3に示す Approval in Principle(以下、「AiP」)を取得している⁵⁾。

ここで、ConOps に示される洋上回収システムおよび運用シナリオを図4に示す。本研究における洋上回収システムとしては、1段目ロケットを回収する回収船と、補助的に運用支援を行う司令船の2隻構成を前提とし、搭載するシステムの検討を行っている。また、運用シナリオとしては、①～⑦に示すような洋上回収システムの準備・使用・補修が想定される一連のオペレーションフローを記載している。

洋上回収システムと運用シナリオは密接な関係にあり、特に運用シナリオ③を達成できるように、回収船では Dynamic Positioning System を搭載し、潮流や気象条件に応じた正確な位置保持を行えるようにするとともに、1段目ロケットとの通信機器を搭載し、着地直前にリアルタイムな通信を行うことで正確な着地を支援できるシステムを検討している。また、特に運用シナリオ④を達成できるように、1段目ロケット着地後は、回収船が完全無人状態のまま機体を安全に固定し、続いて推進薬の排出など必要な安全化処置を行えるシステムを検討している。

6. 洋上回収システムのコンセプト

上述の通り、回収船および司令船の2隻構成を前提としているため、2隻間での設備・人員の共有化を図ることが事業化、特に経済性の観点では重要となる。そこで、運用シナリオ①と⑥に示す港-回収海域間での往復航行で、司令船が回収船を搭載し運航する方式を考案している。図5、6には回収船および回収船(含1段目ロケット)搭載時の司令船のコンセプト3Dモデルを示す。ただし、本3Dモデルは現時点でのコンセプトに留まるため、洋上回収システムにおける船型や体制、一連の運用シナリオについて更なる協議を重ねることで、変更される可能性がある。



図5 洋上回収システムにおける回収船



図6 回収船(含ロケット1段機体)搭載時の司令船

7. 当社が目指す事業化のイメージ

7-1 宇宙輸送需要の拡大

ロケット打ち上げ回数増加により、衛星や宇宙関連部品の輸送需要が拡大する見込みである。図7には日本郵船の宇宙事業開発構想を示しているが、当社は総合物流企業としての強みを活かし、宇宙輸送分野への参入を目指すものである。

7-2 海洋と宇宙の融合による新たな可能性

洋上回収船の開発が進展することにより、再使用型ロケットの打ち上げ回数増加や、それに伴う高頻度の衛星打ち上げも期待される。例えば、高速通信インフラが整備されることで、自律運航船技術の発展や船員の船上での生活利便性向上につながり、さらに、リモートセンシング衛星を用いた、航路最適化や船舶からの温室効果ガス排出量の観測が可能となる。このように「海洋と宇宙がつながる」ことで、海事産業と宇宙産業の双方にメリットが生まれ、今後海洋国家・日本のさらなる発展に貢献していくものである。



図7 日本郵船の宇宙事業開発構想について

8. まとめ

これまで非宇宙産業であった日本郵船は、JAXA 宇宙戦略基金という機会を得ることで宇宙産業への参入をまさに開始したところである。本研究においてもロケットと船とのインターフェイスの開発・融合が非常に重要なテーマであり、今後も JAXA ならびに三菱重工と連携することで開発を進めるものである。日本郵船は本業である海運・物流事業から宇宙産業に貢献しながら、中長期的にはロケットの洋上発射船・回収船を通じてロケット周りのインフラを提供し、また衛星データの利活用分野でも新しい価値の創出機会を見出すものである。

謝辞

本研究は、宇宙戦略基金事業における公募「将来輸送に向けた地上系基盤技術」A) 再使用機体の回収系に係る地上系基盤技術開発 (JPJXSSF24MT06A01) の助成を受けたものです。また、本研究の遂行にあたり、宇宙航空研究開発機構ならびに三菱重工業株式会社の皆様には多大なるご支援とご尽力を賜りました。心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 内閣府 宇宙開発戦略推進事務局：“宇宙戦略基金”，内閣府ホームページ，2024.
- 2) 日本郵船株式会社：“JAXA の宇宙戦略基金事業に海運会社で初めて採択”，日本郵船プレスリリース，2025.
- 3) 辻本勝：“海の10モード指標”，計測と制御 第50巻 第6号，pp.361-366，2011.
- 4) Hirshorn, Steven R., Voss, Linda D., Bromley, Linda K. : NASA Systems Engineering Handbook (Rev. 2), NASA Special Publication SP-2016-6105 Rev2, 2017.
- 5) 日本郵船株式会社：“再使用型ロケット洋上回収システムのコンセプト承認 (AiP) を取得”，日本郵船プレスリリース，2025.